



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105492384 B

(45)授权公告日 2017.11.14

(21)申请号 201480046680.9

(22)申请日 2014.08.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105492384 A

(43)申请公布日 2016.04.13

(30)优先权数据
2013-177235 2013.08.28 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.02.23

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2014/072652 2014.08.28

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/030145 JA 2015.03.05

(73)专利权人 国立大学法人静岡大学
地址 日本静岡県静岡市駿河区大谷836
专利权人 捷恩智株式会社

(72)发明人 井上翼 中野贵之 中西太宇人

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 马爽 臧建明

(51)Int.Cl.

C01B 32/162(2017.01)

(56)对比文件

CN 1165209 A, 1997.11.19,
WO 2009/107603 A1, 2009.09.03,
US 2011/0008240 A1, 2011.01.13,
S.Musso et al..growth of vertically
aligned carbon nanotubes by CVD by
evaporation of carbon precursors.《Diamond
& Related Materials》.2005,第14卷第784-789
页.

Haoqing Hou et al..Large-Scale
Synthesis of Aligned Carbon Nanotubes
Using FeCl₃ as Floating Catalyst
Precursor.《Chem. Mater.》.2003,第15卷第
580-585页.

Haoqing Hou et al..Carbon Nanotubes
and Spheres Produced by Modified
Ferrocene Pyrolysis.《Chem. Mater.》.2002,
第14卷第3990-3994页.

审查员 卫立现

权利要求书2页 说明书13页 附图6页

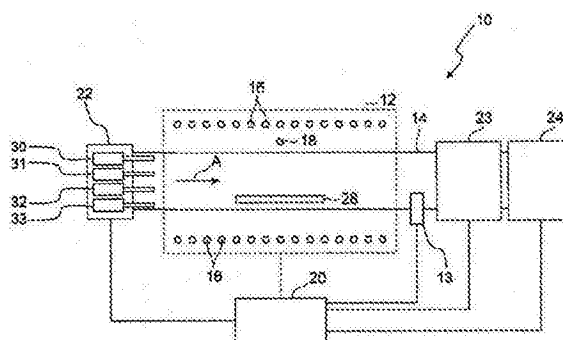
(54)发明名称

制造装置、供给单元及碳纳米管的制造方法

(57)摘要

本发明提供一种制造装置、供给单元及碳纳米管的制造方法。所述制造装置为通过气相催化法来制造碳纳米管的制造装置,具备:第一腔室,具有作为形成碳纳米管的区域的成长区域;第一调温装置、第一调温装置,可调整第一腔室内的成长区域的温度;调压装置、调压装置,可调整第一腔室内的压力;第一供给装置,可对第一腔室内的成长区域供给碳源;第一气化装置(包含加热器),可将配置在制造装置内的液体气化;第一气化装置(包含加热器)可将液体气化,以将由液体所含有的含铁族元素物质及含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂供给至第一腔室内的

成长区域。该制造装置可以提高通过气相催化法所制造的碳纳米管的生产性。



1. 一种制造装置,通过气相催化法来制造碳纳米管,并且所述制造装置的特征在于具备:

第一腔室,具有作为形成碳纳米管的区域的成长区域;

第一调温装置,可调整所述第一腔室内的所述成长区域的温度;

调压装置,可调整所述第一腔室内的压力;

第一供给装置,可对所述第一腔室内的所述成长区域供给碳源;以及

第一气化装置,可将配置在所述制造装置内的液体气化;且

所述第一气化装置可将所述液体气化,以将由所述液体所含有的含铁族元素物质及含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂供给至所述第一腔室内的所述成长区域。

2. 根据权利要求1所述的制造装置,其中在所述成长区域中配置有基板,可在所述基板的基面上以阵列状形成碳纳米管。

3. 根据权利要求1所述的制造装置,其中在所述成长区域中,可通过气相流动反应来形成碳纳米管。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的制造装置,具备可收容所述液体、且其内部与所述第一腔室的内部连通的第二腔室,

所述第一气化装置可将所述第二腔室内的液体气化。

5. 根据权利要求4所述的制造装置,其中在所述第一腔室与所述第二腔室之间,具备可调整这些腔室的连通程度的连通调整装置。

6. 根据权利要求1至3中任一项所述的制造装置,其中所述液体可配置在所述第一腔室内。

7. 一种供给单元,可供给第一液体,且成为通过气相催化法来制造碳纳米管的制造装置的一部分,其中所述第一液体包含含有气相催化剂的液体及含有所述气相催化剂的前驱物的液体的至少一种,并且不包含作为碳源的化合物,并且所述供给单元的特征在于具备:

供给单元用腔室,可收容所述第一液体;

供给单元用气化装置,可将所述供给单元用腔室内的所述第一液体气化而形成第一气相材料;以及

释出装置,可将所述第一气相材料释出到所述供给单元用腔室外。

8. 根据权利要求7所述的供给单元,其中所述供给单元用气化装置具备将液体加热的机构。

9. 一种碳纳米管的制造方法,使用根据权利要求7或8所述的供给单元,获得在基板的基面上以阵列状形成的碳纳米管。

10. 一种碳纳米管的制造方法,使用根据权利要求7或8所述的供给单元,以气相流动反应的产物的形式获得碳纳米管。

11. 一种制造方法,其为碳纳米管的制造方法,并且所述制造方法的特征在于具备:

第一工序,将由第一液体所含有的含铁族元素物质及含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂供给至第一腔室内;以及

第二工序,使用基于所述第一腔室内存在的所述气相催化剂所生成的催化剂,由供给至所述第一腔室内的碳源来形成碳纳米管;并且

所述第一工序包括所述第一液体的气化,其中

所述第一液体不包含作为碳源的化合物。

12. 根据权利要求11所述的制造方法, 其中在所述第一工序中, 使配置在所述第一腔室内的基板存在于含有所述气相催化剂的环境内,

在所述第二工序中, 在所述基板的基面上以阵列状形成碳纳米管。

13. 根据权利要求12所述的制造方法, 其中在经过所述第一工序而所述气相催化剂存在于所述第一腔室内的状态下, 向所述第一腔室内供给所述碳源。

14. 根据权利要求12或13所述的制造方法, 其中所述第一工序中的所述基板的温度低于所述第二工序中的所述基板的温度。

15. 根据权利要求11所述的制造方法, 其中以气相流动反应的产物的形式形成碳纳米管。

16. 根据权利要求11至13中任一项所述的制造方法, 其中所述含铁族元素物质所含有的铁族元素包含铁。

17. 根据权利要求11至13中任一项所述的制造方法, 其中在所述第一腔室外进行所述第一液体的气化, 将所述第一液体的气化物从所述第一腔室外供给至所述第一腔室内。

18. 根据权利要求11至13中任一项所述的制造方法, 其中所述第一液体所含有的所述含铁族元素物质包含铁-甲醇络合物。

制造装置、供给单元及碳纳米管的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种碳纳米管(Carbon nanotube, CNT)的制造装置及成为该制造装置的一部分的供给单元以及碳纳米管的制造方法。

[0002] 本说明书中,所谓碳纳米管阵列(本说明书中也称为“CNT阵列”),为多条碳纳米管(本说明书中也称为“CNT”)的合成结构(以下,将形成该合成结构的CNT各自的形状称为“一次结构”,将所述合成结构也称为“二次结构”)的一种,且是指多条CNT以长轴方向的至少一部分朝一定方向(具体的一例可举出与基板所具备的面的一条法线大致平行的方向)取向的方式成长而成的CNT的集合体。此外,将自基板所成长的CNT阵列的附着在基板上的状态下与基板的法线平行的方向的长度(高度)称为“成长高度”。

[0003] 另外,本说明书中,将通过以下方式所形成的具有多条CNT彼此交缠的结构的结构体称为“CNT交缠体”:捏住CNT阵列的一部分CNT,将该CNT以远离CNT阵列的方式拉伸,由此从CNT阵列中连续地抽出多条CNT(本说明书中,仿效现有技术中由纤维来制造丝的操作而将该操作也称为“纺织”)。

背景技术

[0004] CNT具有如下特异性结构,即,具有包含石墨烯(graphene)的外侧面,因此期待将其作为功能材料也作为结构材料而应用于各种领域中。具体来说,CNT具有如下优异特性:机械强度高,重量轻,导电特性良好,耐热性、导热性等热特性良好,化学耐腐蚀性高,且场致电子发射特性良好。因此,关于CNT的用途,可想到轻量高强度线(wire)、扫描探针显微镜(Scanning Probe Microscope, SPM)的探针、场发射显示器(Field Emission display, FED)的冷阴极、导电性树脂、高强度树脂、耐腐蚀性树脂、耐磨损性树脂、高度润滑性树脂、二次电池或燃料电池的电极、大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI)的层间布线材料、生物传感器(biosensor)等。

[0005] 作为CNT的制造方法之一,专利文献1中公开了以下方法:蒸镀金属系材料的薄膜等,预先在基板的表面上利用溅镀等方法形成固相的金属催化剂层,将该具备固相的金属催化剂层的基板配置在反应炉中,由该金属催化剂层在基板上形成成为成长核的催化剂粒子,对反应炉供给烃气体而在基板上形成CNT阵列。以下,将像所述那样在基板上形成作为成长核的固相的催化剂粒子,并对设有具备该固相的催化剂粒子的基板的反应炉中供给烃系的材料而制造CNT阵列的方法称为固相催化法。

[0006] 作为通过固相催化法以高效率制造CNT阵列的方法,专利文献2中公开了以下方法:一面满足既定条件一面供给含有碳且不含氧的原料气体、含有氧的催化剂活化物质、环境气体并使其与固相的催化剂层接触。

[0007] 也公开了利用与所述方法不同的方法来制造CNT阵列的方法。即,专利文献3中公开了以下方法:使氯化铁升华,将其作为前驱物而在基板上形成成为成长核的催化剂,使用该催化剂来形成CNT阵列。该方法将含有卤素且处于气相状态的物质作为催化剂前驱物,使用该物质来形成催化剂,从这方面来看,与专利文献1或专利文献2中公开的技术本质上不

同。本说明书中,将专利文献3中公开的CNT阵列的制造方法也称为气相催化法。

[0008] 现有技术文献

[0009] 专利文献

[0010] 专利文献1:日本专利特开2004-107196号公报

[0011] 专利文献2:日本专利第4803687号公报

[0012] 专利文献3:日本专利特开2009-196873号公报

发明内容

[0013] [发明所要解决的问题]

[0014] 利用该气相催化法的CNT阵列的制造方法中,催化剂的形成工艺与利用所述固相催化法的CNT阵列的制造方法不同,因此可能催化剂的作用不同。所以,可认为固相催化法与气相催化法为本质上不同的CNT阵列的制造方法。因此,在通过气相催化法来制造具有各种一次结构、二次结构的CNT的情况下,由于其制造方法为气相催化法,因此可提供各种提高生产性的方法。

[0015] 本发明的课题在于提供一种可提高通过所述气相催化法所制造的CNT的制造控制性的手段。

[0016] [解决问题的技术手段]

[0017] 为了解决所述课题而提供的本发明为如下所述。

[0018] [1]一种制造装置,通过气相催化法来制造碳纳米管,并且所述制造装置的特征在于具备:第一腔室,具有作为形成碳纳米管的区域的成长区域;第一调温装置,可调整所述第一腔室内的所述成长区域的温度;调压装置,可调整所述第一腔室内的压力;第一供给装置,可对所述第一腔室内的所述成长区域供给碳源;以及第一气化装置,可将配置在所述制造装置内的液体气化;且所述第一气化装置可将所述液体气化,以将由所述液体所含有的含铁族元素物质及含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂供给至第一腔室内的所述成长区域。

[0019] [2]根据所述[1]所述的制造装置,其中在所述成长区域中配置有基板,可在该基板的基面上以阵列状形成碳纳米管。

[0020] [3]根据所述[1]所述的制造装置,其中在所述成长区域中,可通过气相流动反应来形成碳纳米管。

[0021] [4]根据所述[1]至[3]中任一项所述的制造装置,具备可收容所述液体、且其内部与所述第一腔室的内部连通的第二腔室,且所述第一气化装置可将所述第二腔室内的液体气化。

[0022] [5]根据所述[4]所述的制造装置,其中在所述第一腔室与所述第二腔室之间,具备可调整这些腔室的连通程度的连通调整装置。

[0023] [6]根据所述[1]至[3]中任一项所述的制造装置,其中所述液体可配置在所述第一腔室内。

[0024] [7]一种供给单元,可供给第一液体,且成为通过气相催化法来制造碳纳米管的制造装置的一部分,其中所述第一液体包含含有所述气相催化剂的液体及含有所述气相催化剂的前驱物的液体的至少一种,并且所述供给单元的特征在于具备:供给单元用腔室,可收

容所述第一液体;供给单元用气化装置,可将所述供给单元用腔室内的所述第一液体气化而形成第一气相材料;以及释出装置,可将所述第一气相材料释出到所述供给单元用腔室外。

[0025] [8]根据所述[7]所述的供给单元,其中所述供给单元用气化装置具备将液体加热的机构。

[0026] [9]一种碳纳米管的制造方法,使用根据所述[7]或[8]所述的供给单元,在基板的基面上获得以阵列状形成的碳纳米管。

[0027] [10]一种碳纳米管的制造方法,使用根据所述[7]或[8]所述的供给单元,以气相流动反应的产物的形式获得碳纳米管。

[0028] [11]一种制造方法,制造碳纳米管,并且所述制造方法的特征在于具备:第一工序,将由第一液体所含有的含铁族元素物质及含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂供给至第一腔室内;以及第二工序,使用基于所述第一腔室内存在的气相催化剂所生成的催化剂,由供给至所述第一腔室内的碳源来形成碳纳米管;并且所述第一工序包括所述第一液体的气化。

[0029] [12]根据所述[11]所述的制造方法,其中在所述第一工序中,使配置在所述第一腔室内的基板存在于含有所述气相催化剂的环境内,在所述第二工序中,在所述基板的基面上以阵列状形成碳纳米管。

[0030] [13]根据所述[12]所述的制造方法,其中在经过所述第一工序而所述气相催化剂存在于第一腔室内的状态下,对所述第一腔室内供给所述碳源。

[0031] [14]根据所述[11]至[13]中任一项所述的制造方法,其中所述第一工序中的所述基板的温度低于所述第二工序中的所述基板的温度。

[0032] [15]根据所述[11]所述的制造方法,其中以气相流动反应的产物的形式形成碳纳米管。

[0033] [16]根据所述[11]至[15]中任一项所述的制造方法,其中所述含铁族元素物质所含有的铁族元素包含铁。

[0034] [17]根据所述[11]至[16]中任一项所述的制造方法,其中在所述第一腔室外进行所述第一液体的气化,将所述第一液体的气化物从所述第一腔室外供给至所述第一腔室内。

[0035] [18]根据所述[11]至[17]中任一项所述的制造方法,其中所述第一液体所含有的含铁族元素物质包含铁-甲醇络合物。

[0036] [发明的效果]

[0037] 根据本发明的CNT的制造方法,容易向第一腔室内供给气相催化剂。因此,期待在通过气相催化法来制造CNT时,容易控制其产量或其形状(一次结构及二次结构两者)的特性。

附图说明

[0038] 图1为概略性地表示本发明的第一实施形态的CNT阵列的制造装置的构成的图。

[0039] 图2为概略性地表示图1所示的制造装置所具备的气相催化剂供给装置的构成的图。

[0040] 图3为概略性地表示本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造装置的一例的构成

的图。

[0041] 图4为概略性地表示本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造装置的另一例的构成的图。

[0042] 图5为表示构成CNT阵列的CNT的图像。

[0043] 图6为表示构成CNT阵列的CNT的外径分布的图表。

[0044] 图7为表示将CNT阵列纺织而制造CNT交缠体的状态的图像。

[0045] 图8为将由CNT阵列所得的CNT交缠体的一部分放大的图像。

[0046] 图9为通过实施例1的制造方法所制造的CNT阵列的观察图像。

[0047] 图10为通过实施例2的制造方法所制造的CNT阵列的观察图像。

[0048] 附图标记说明：

[0049] 10、50、60：CNT阵列的制造装置；

[0050] 12：电炉；

[0051] 13：压力计；

[0052] 14：反应容器管（第一腔室）；

[0053] 16：加热器（第一调温装置的一部分）；

[0054] 18：热电偶（第一调温装置的一部分）；

[0055] 20：控制装置；

[0056] 22：供给装置；

[0057] 23：调压阀（调压装置的一部分）；

[0058] 24：排气装置（调压装置的一部分）；

[0059] 28：基板；

[0060] 29：耐热血；

[0061] 30：原料气体供给装置（第一供给装置）；

[0062] 31：第一气相材料供给装置；

[0063] 32：气相催化助剂供给装置；

[0064] 33：辅助气体供给装置；

[0065] 31A：供给单元用腔室；

[0066] 31B：加热器（第一气化装置的一部分）；

[0067] 31C：第一液体供给装置；

[0068] 31D：释出装置；

[0069] 18A：上游侧的热电偶（第一气化装置的一部分）；

[0070] 18B：下游侧的热电偶（第一调温装置的一部分）。

具体实施方式

[0071] 以下，对本发明的实施形态加以说明。

[0072] 1.CNT阵列的制造装置

[0073] 一面参照图式一面对本发明的第一实施形态的CNT阵列的制造装置加以说明。

[0074] 图1为概略性地表示本发明的第一实施形态的CNT阵列的制造方法中使用的制造装置的构成的图。

[0075] 像图1所示那样,CNT阵列的制造装置10具备电炉12。该电炉12呈现出沿既定方向A(原料气体流动的方向)延伸的大致圆筒形状。反应容器管14在电炉12的内侧贯通,所述反应容器管14为具有作为形成CNT的区域的成长区域的第一腔室。反应容器管14例如为包含石英等耐热材料的大致圆筒形的构件,具有较电炉12更细的外径,且沿既定方向A延伸。图1中,在反应容器管14的成长区域内配置有基板28,该基板28具备作为CNT阵列成长的面的基面。即,CNT阵列的制造装置10中的成长区域包含反应容器管14内的配置有基板28的区域。

[0076] 电炉12具备加热器16及热电偶18。在CNT阵列的制造装置10中,第一调温装置是由加热器16及热电偶18所构成。加热器16是以包围反应容器管14的既定方向A的某一定区域(换言之,为大致圆筒形状的反应容器管14的轴方向的一定区域,以下也称为“加热区域”)的方式配设,产生用来使反应容器管14的加热区域的管内环境的温度上升的热。热电偶18在电炉12的内侧配置在反应容器管14的加热区域的附近,可输出与反应容器管14的加热区域的管内环境的温度有关的表示温度的电信号。加热器16及热电偶18与控制装置20电连接。

[0077] 在既定方向A的反应容器管14的上游侧(图1中为左侧的一端),连接着供给装置22。供给装置22具备原料气体供给装置30、第一气相材料供给装置31、气相催化助剂供给装置32及辅助气体供给装置33。供给装置22与控制装置20电连接,供给装置22所具备的各供给装置均电连接。

[0078] 原料气体供给装置30(第一供给装置)可向反应容器管14的内部(特别是成长区域)供给成为构成CNT阵列的CNT的原料的碳化合物(例如乙炔等烃)、即含有碳源的原料气体。来自原料气体供给装置30的原料气体的供给流量可使用质量流(mass flow)等众所周知的流量调整设备来调整。

[0079] 第一气相材料供给装置31可将收容在第一气相材料供给装置31内的第一液体L气化而成的第一气相材料G供给至反应容器管14的内部。此外,本说明书中,所谓“气化”是指将第一液体L所含有的物质调整为气相状态以及形成第一液体L的气雾(aerosol)两者。第一气相材料G含有源自第一液体L的气相催化剂或气相催化剂的前驱物,因此可通过第一气相材料供给装置31向反应容器管14的内部(特别是成长区域)供给气相催化剂。本说明书中所谓“气相催化剂”,是指以下物质的总称,所述物质为含有卤素的催化剂前驱物且在反应容器管14的成长区域中可获得气相状态的物质、及基于该含有卤素的催化剂前驱物而形成的浮游物质。构成气相催化剂的物质中,至少一部分附着在基板28的基面上,基于该附着的物质,形成有助于CNT形成、本实施形态中有助于CNT阵列形成的催化剂的至少一部分。

[0080] 像图2所示那样,第一气相材料供给装置31具有以下将说明的单元结构。即,第一气相材料供给装置31具备可收容第一液体L的供给单元用腔室31A、及可调整供给单元用腔室31A内的第一液体L的温度的供给单元用调温装置,其中所述第一液体L包含含有气相催化剂的液体及含有气相催化剂的前驱物的液体的至少一种。图2中,供给单元用调温装置是由加热器31B(第一气化装置的一部分)及未图示的热电偶等温度测量装置所构成。

[0081] 第一气相材料供给装置31具备可向供给单元用腔室31A内供给第一液体L的第一液体供给装置31C。在供给单元用腔室31A内,通过供给单元用调温装置(包含加热器31B等)将第一液体L调整为既定温度,由此使第一液体L气化。即,在第一气相材料供给装置31中,供给单元用调温装置相当于供给单元用气化装置,该供给单元用气化装置可形成将第一液

体L气化而成的第一气相材料G。第一气相材料供给装置31具备可将供给单元用腔室31A内的第一气相材料G释出到供给单元用腔室31A外的释出装置31D。图1中,其释出目的地为反应容器管14的内部,从第一气相材料供给装置31将第一气相材料G供给至反应容器管14内。第一液体供给装置31C及释出装置31D也可具备对通过这些各装置的物质的量进行调整的机构。

[0082] 在第一气相材料G含有源自第一液体L的气相催化剂的情况下,将该气相催化剂供给至反应容器管14内的成长区域。另一方面,在第一气相材料G含有源自第一液体L的气相催化剂的前驱物的情况下,由该气相催化剂的前驱物形成气相催化剂,将该所形成的气相催化剂供给至反应容器管14内的成长区域。

[0083] 在图1所示的第一气相材料供给装置31中,供给单元用调温装置相当于供给单元用气化装置,通过供给单元用调温装置将第一液体L气化而生成第一气相材料,但并不限于此。例如,供给单元用气化装置可具备控制供给单元用腔室31A内的压力的机构,通过使供给单元用腔室31A内的压力降低而将第一液体L气化,或者供给单元用气化装置也可具备向供给单元用腔室31A内的第一液体L内供给气体的机构,通过向第一液体L内供给惰性气体或氢气(起泡)而将第一液体L气化。或者,供给单元用气化装置也可具备提高供给单元用腔室31A内的第一液体L的压力的机构、及可使第一液体L喷出到供给单元用腔室31A外的孔隙,通过使第一液体L从该孔隙中喷出而将第一液体L气化。

[0084] 第一气相材料供给装置31可具有可调整供给单元用腔室31A内的压力的排气系统(调压装置),或者也可具有可向供给单元用腔室31A内供给气体的气体供给系统(气体供给装置)。通过具有这种排气系统或气体供给系统,有时也容易将第一液体L气化。

[0085] 气相催化助剂供给装置32可向反应容器管14的内部(特别是成长区域)供给气相催化助剂。关于气相催化助剂将在下文中描述。来自气相催化助剂供给装置32的气相催化助剂的供给流量可使用质量流等众所周知的流量调整设备来调整。

[0086] 辅助气体供给装置33可向反应容器管14的内部(特别是成长区域)供给所述原料气体、第一气相材料及气相催化助剂以外的气体、例如氩气等惰性气体(本说明书中将该气体总称为“辅助气体”)。来自辅助气体供给装置33的辅助气体的供给流量可使用质量流等众所周知的流量调整设备来调整。

[0087] 在既定方向A的反应容器管14的下游侧(图1中为右侧)的另一端,连接着调压阀23(调压装置的一部分)及排气装置24(同为调压装置的一部分)。调压阀23可通过使阀的开闭程度变动而调整反应容器管14内的压力。排气装置24对反应容器管14的内部进行真空排气。排气装置24的具体种类并无特别限定,可单独使用旋转泵(rotary pump)、油扩散泵、机械升压器(mechanical booster)、涡轮分子泵(turbo-molecular pump)、冷冻泵(cryopump)等或将这些装置组合使用。调压阀23及排气装置24与控制装置20电连接。另外,在反应容器管14的内部,设有用来测量其内部压力的压力计13。压力计13与控制装置20电连接,可向控制装置20输出表示反应容器管14的内部压力的电信号。

[0088] 像上文所述那样,控制装置20与加热器16、热电偶18、供给装置22、压力计13、调压阀23及排气装置24电连接,输入由这些装置等所输出的电信号,并基于该所输入的电信号来控制这些装置等的动作。以下,对控制装置20的具体动作加以例示。

[0089] 控制装置20可输入由热电偶18所输出的与反应容器管14的内部温度有关的电信

号,并对加热器16输出基于该电信号所决定的与加热器16的动作有关的控制信号。输入了来自控制装置的控制信号的加热器16基于该控制信号而进行使产生热量增减的动作,使反应容器管14的加热区域的内部温度变化。

[0090] 控制装置20可输入由压力计13所输出的与反应容器管14的加热区域的内部压力有关的电信号,并对调压阀23及排气装置24输出基于该电信号所决定的与调压阀23及排气装置24的动作有关的控制信号。输入了来自控制装置20的控制信号的调压阀23及排气装置24基于该控制信号而进行变更调压阀23的开闭程度、或变更排气装置24的排气能力等动作。

[0091] 控制装置20可按照预先设定的时间表(time table)对各装置输出用来控制各装置等的动作的控制信号。例如,可对供给装置22输出如下控制信号,该控制信号决定来自供给装置22所具备的原料气体供给装置30、第一气相材料供给装置31、气相催化助剂供给装置32及辅助气体供给装置33各自的物质供给的开始及停止以及供给流量。输入了该控制信号的供给装置22按照该控制信号使各供给装置动作,开始向反应容器管14内供给原料气体等各物质或停止供给。

[0092] 控制装置20可控制构成第一气相材料供给装置31的各部的动作。即,控制装置20可基于来自第一气相材料供给装置31所具备的热电偶等温度测量装置的电信号而输出与加热器31B的动作有关的控制信号。输入了该控制信号的加热器31B可按照该控制信号使供给单元用腔室31A内的第一液体L的温度变化。可通过该温度的变化来调整第一气相材料G的产量。控制装置20可输出与第一液体供给装置31C的动作有关的控制信号。输入了该控制信号的第一液体供给装置31C按照该控制信号而使向供给单元用腔室31A内的第一液体L的供给量变化。控制装置20可输出与释出装置31D的动作有关的控制信号。输入了该控制信号的释出装置31D可按照该控制信号调整将第一气相材料G供给至供给单元用腔室31A外(即,图1的反应容器14内)的时机(timing)或量。在第一气相材料供给装置31像上文所述那样具备追加的排气系统或气体供给系统的情况下,控制装置20可输出与这些系统的动作有关的控制信号。

[0093] 一面参照图式一面对本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造装置加以说明。图3为概略性地表示本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造方法中使用的制造装置的构成的图。像图3所示那样,本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造装置50若与图1所示的本发明的第一实施形态的CNT阵列的制造装置10相比,代替供给装置22在其中具备第一气相材料供给装置31,而在电炉12中具备可在其内部收容第一液体L的耐热血29,且将第一液体L收容在反应容器管14内的耐热血29内,除此以外,基本构成相同。

[0094] 该构成的本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造装置50中,在反应容器管14内进行第一液体L的气化。第一液体L气化而成的第一气相材料G所含有的气相催化剂或由第一气相材料G所形成的气相催化剂在反应容器管14内扩散而到达成长区域。图3中,加热器16可调整配置在反应容器管14内的基板28的温度,并且可调整耐热血29内的第一液体L的温度。即,第二实施形态的CNT阵列的制造装置50中,加热器16及热电偶18构成第一液体L的气化装置。

[0095] 在像本发明的第二实施形态的CNT阵列的制造装置50那样在反应容器管14内进行第一液体L的气化的情况下,反应容器管14内的环境温度也可设定为在反应容器管14内可

分割控制。例如,图4所示的CNT阵列的制造装置60具备多个热电偶18A、热电偶18B,加热器16可基于来自各热电偶的电信号在反应容器管14的轴方向上分割控制(上游侧、下游侧)。

[0096] 因此,在反应容器管14的上游侧(图4中为左侧)的区域中,基于来自热电偶18A的电信号使加热器16的上游侧(图4中为左侧)动作,由此可调整耐热皿29内的第一液体L的温度。

[0097] 在反应容器管14的下游侧(图4中为右侧)的区域中,基于来自热电偶18B的电信号使加热器16的下游侧(图4中为右侧)动作,由此可调整配置有基板28的成长区域的温度。该构成的情况下,可在反应容器管14的上游侧生成第一气相材料G,并且可在反应容器管14的下游侧调整反应区域的温度。

[0098] 本发明的一实施形态的CNT阵列的制造装置也可具备所述CNT阵列的制造装置10、制造装置50、制造装置60的多个结构上的特征。即,也可设定为CNT装置具备第一气相材料供给装置31,可将第一气相材料G供给至反应容器管14内,并且具备耐热皿29,可在反应容器管14内实施配置在反应容器管14内的第一液体L的气化。

[0099] 2.CNT阵列的制造方法

[0100] 对本发明的一实施形态的CNT阵列的制造方法加以说明。本实施形态的CNT阵列的制造方法具备第一工序及第二工序。

[0101] (1) 第一工序

[0102] 本实施形态的CNT阵列的制造方法中,作为第一工序,将由第一液体L所含有的含铁族元素物质及含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂供给至第一腔室内。这里,第一工序包括第一液体L的气化。关于该第一液体L的气化,可像使用CNT阵列的制造装置10的情况那样在反应容器管14外进行,也可像使用CNT阵列的制造装置50或CNT阵列的制造装置60的情况那样在反应容器管14内进行。作为第一液体L的气化物的第一气相材料G含有气相催化剂或气相催化剂的前驱物,因此通过进行第一工序,可使配置在反应容器管14内的基板28存在于含有气相催化剂的环境内。

[0103] 这里,本实施形态的CNT阵列的制造方法中,基板28优选的是具备基面作为其表面的至少一部分,所述基面为包含含有硅的氧化物的材料的面。

[0104] 基板28的具体构成并无限定。其形状为任意,可为平板或圆筒那样的简单形状,也可具有设有复杂凹凸的三维形状。另外,可使基板的整个面为基面,也可为基板的表面的仅一部分为基面且其他部分并非基面的所谓经图案化的状态。

[0105] 基面为包含含有硅的氧化物的材料的面,在第二工序中在基面上形成CNT阵列。构成基面的材料只要含有硅的氧化物,则其详细情况并无限定。构成基面的材料的具体的一例可举出石英(SiO_2)。构成基面的材料的其他例可举出 SiO_x ($x \leq 2$) 构成基面的材料的其他例可举出 SiO_x ($x \leq 2$)。进而其他的例子可举出含有硅的复合氧化物。构成该复合氧化物的硅及氧以外的元素可例示Fe、Ni、Al等。另外,进而其他的例子可举出在硅的氧化物中添加有氮、硼等非金属元素的化合物。

[0106] 构成基面的材料可与构成基板28的材料相同,也可不同。若示出具体例,则可例示:构成基板28的材料包含石英且构成基面的材料也包含石英的情况、或构成基板28的材料包含以硅为主体的硅基板且构成基面的材料包含其氧化膜的情况。

[0107] 像上文所述那样,在第一工序中,在制造装置10中使用第一气相材料供给装置31,

在制造装置50或制造装置60中使用耐热血29,经由第一液体L向反应容器管14内供给气相催化剂,使所述具备基面的基板28存在于含有气相催化剂的环境内。无论使用哪一CNT阵列的制造装置10、制造装置50、制造装置60,均可通过适当选择第一液体L所含有的含铁族元素物质及含卤素物质的种类,而将各种气相催化剂供给至反应容器管14内。

[0108] 第一液体L所含有的含铁族元素物质为含有铁族元素(即,铁、钴及镍的至少一种)的物质,其具体组成并无限定。含铁族元素物质的具体例可举出铁-甲醇络合物等以铁族元素作为至少一种中心金属元素的配位化合物、铁族元素的离子等。含铁族元素物质可由一种材料构成,也可由多种材料构成。从获取的容易程度、形成CNT的容易程度等观点来看,含铁族元素物质所含有的铁族元素优选的是包含铁。

[0109] 第一液体L所含有的含卤素物质为含有卤素(即,氟、氯、溴及碘的至少一种)的物质,其具体组成并无限定。含卤素物质的具体例可举出氟化物离子(F^-)、氯化物离子(Cl^-)、溴化物离子(Br^-)、碘化物离子(I^-)等。含卤素物质可由一种物质构成,也可由多种物质构成。也可含铁族元素物质与含卤素物质在第一液体L中相互作用的状态。这种化合物的一例可举出铁-甲醇络合物的氯化物。

[0110] 第一液体L所含有的溶剂并无限定。可为水、醇等质子性极性溶剂,也可丙酮、乙腈等非质子性极性溶剂,也可环己烷、甲苯等非极性溶剂。只要根据第一液体L所含有的含铁族元素物质及含卤素物质的性质而适当设定溶剂的组成即可。

[0111] 本实施形态的气相催化剂含有第一液体L所含有的含铁族元素物质与含卤素物质的反应产物。气相催化剂的具体例可举出铁族元素的卤化物(本说明书中也称为“铁族元素卤化物”)。若进一步具体例示该铁族元素卤化物,则可举出氟化铁、氟化钴、氟化镍、氯化铁、氯化钴、氯化镍、溴化铁、溴化钴、溴化镍、碘化铁、碘化钴、碘化镍等。铁族元素卤化物有时也像氯化铁(II)、氯化铁(III)那样,根据铁族元素的离子的价数而存在不同的化合物。气相催化剂可由一种物质构成,也可由多种物质构成。

[0112] 第一液体L与第一气相材料G的关系并无特别限定。若以第一液体L为含有上文所述的铁-甲醇络合物的氯化物的甲醇溶液的情况作为具体例,则第一液体L经加热而作为溶剂的甲醇挥发,结果所生成的固相的氯化铁升华,在该情况下,第一气相材料G含有作为气相催化剂的一的氯化铁。在通过液体质量流等将所述第一液体L气化的情况下,第一气相材料G成为第一液体L的气雾。由该第一液体L的气雾内的甲醇络合物而与所述情况同样地生成氯化铁,该氯化铁升华而成为气相催化剂的一种。该情况下,将第一液体L内的铁-甲醇络合物的氯化物定位为气相催化剂的前驱物。

[0113] 除了所述任一供给方法以外,也可使用其他方法向反应容器管14的内部供给气相催化剂。若示出这种情况的具体例,则若在反应容器管14的加热区域的内部配置氯化铁(II)的无水物作为催化剂源,将反应容器管14的加热区域的内部加热并且调整为负压而使氯化铁(II)的无水物升华,则可使含有氯化铁(II)的蒸气的气相催化剂存在于反应容器管14内。

[0114] 第一工序中的反应容器管14内的环境、具体来说配置有基板28的成长区域的压力并无特别限定。可为大气压(1.0×10^5 Pa左右),也可负压,也可正压。在第二工序中将反应容器管14内设定为负压环境的情况下,优选的是在第一工序中也将环境设定为负压,缩短工序间的过渡时间。当在第一工序中将反应容器管14内设定为负压环境的情况下,环

境的具体总压并无特别限定。若举出一例,则可举出设定为 10^{-2} Pa以上且 10^4 Pa以下。

[0115] 在使用第一气相材料供给装置31供给气相催化剂的情况下,第一工序中的反应容器管14内环境的温度并无特别限定。可为常温(约25℃),也可经加热,也可经冷却。

[0116] 像在下文中将描述那样,优选的是在第二工序中将反应容器管14的成长区域加热,因此有时也优选的是在第一工序中也将该成长区域预先加热,缩短工序间的过渡时间。

[0117] 此外,除了所述方法以外,也可使用氯化铁(II)的无水物作为气相催化剂的供给源,将该氯化铁(II)的无水物加热而使氯化铁(II)升华,将所产生的氯化铁(II)的蒸气导入到配置有基板28的反应容器管14内。氯化铁(II)的升华温度在大气压(1.0×10^5 Pa左右)下为950K左右,但通过将反应容器管14的加热区域的内部环境设定为负压,可降低升华温度。

[0118] (2) 第二工序

[0119] 在第二工序中,使用基于第一腔室内存在的气相催化剂所生成的催化剂,由供给至所述第一腔室内的原料气体所含有的碳源来形成CNT。具体来说,将由含铁族元素物质与含卤素物质所形成的至少一种气相催化剂作为催化剂前驱物,在基板28上生成催化剂,使用该催化剂由碳源来形成CNT。

[0120] 原料气体的种类并无特别限定,通常使用烃系材料,可举出乙炔作为具体例。使原料气体存在于反应容器管14内(特别是成长区域)的方法并无特别限定。像上文所述的制造装置10、制造装置50、制造装置60那样,可通过从原料气体供给装置30供给原料气体而使原料气体存在,也可使可生成原料气体的材料预先存在于反应容器管14的内部,由该材料生成原料气体并使其在反应容器管14的内部扩散,由此开始第二工序。在从原料气体供给装置30供给原料气体的情况下,优选的是使用流量调整设备,控制向反应容器管14内部的原料气体的供给流量。通常供给流量是以sccm单位表示,所谓1sccm,是指换算成273K、 1.01×10^5 Pa的环境下的气体的每分钟1ml的流量。在图1、图3、图4所示那样的构成的制造装置10、制造装置50、制造装置60的情况下,供给至反应容器管14内的气体的流量是根据反应容器管14的内径、压力计13中测定的压力等而设定。在压力计13的压力为 1×10^2 Pa以上且 1×10^3 Pa以内的情况下,含有乙炔的原料气体的优选供给流量可例示10sccm以上且1000sccm以下,该情况下更优选的是设定为20sccm以上且500sccm以下,特别优选的是设定为50sccm以上且300sccm以下。

[0121] 本说明书中,所谓“气相催化助剂”是指以下气相成分,该气相成分具有提高通过上文所述的气相催化法所制造的CNT阵列的成长速度的功能(以下也称为“成长促进功能”),在优选的一形态中,进一步具有提高所制造的CNT阵列的纺织性的功能(以下也称为“纺织性提高功能”)。该气相成分具有提高通过上文所述的气相催化法所制造的CNT阵列的成长速度的功能(以下也称为“成长促进功能”),在优选的一形态中,进一步具有提高所制造的CNT阵列的纺织性的功能(以下也称为“纺织性提高功能”)。

[0122] 在第二工序中使气相催化助剂存在于反应容器管14内(特别是成长区域)的方法并无特别限定。可像上文所述的制造装置10、制造装置50、制造装置60那样,通过从气相催化助剂供给装置32供给气相催化助剂而使气相催化助剂存在。在从气相催化助剂供给装置32供给气相催化助剂的情况下,优选的是使用流量调整设备,控制向反应容器管14内部的气相催化助剂的供给流量。或者,也可使可生成气相催化助剂的材料预先存在于反应容器

管14内,通过加热、减压等方法由该材料生成气相催化助剂,使气相催化助剂在反应容器管14内扩散。

[0123] 第二工序中的反应容器管14内环境的总压并无特别限定。可为大气压($1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ 左右),也可为负压,也可为正压。只要考虑存在于反应容器管14内的物质的组成(分压比)等而适当设定即可。若示出将反应容器管14内的加热区域的内部环境设定为负压的情况的压力范围的具体例,则为 $1 \times 10^1 \text{Pa}$ 以上且 $1 \times 10^4 \text{Pa}$ 以下,优选的是设定为 $2 \times 10^1 \text{Pa}$ 以上且 $5 \times 10^3 \text{Pa}$ 以下,更优选的是设定为 $5 \times 10^1 \text{Pa}$ 以上且 $2 \times 10^3 \text{Pa}$ 以下,特别优选的是设定为 $1 \times 10^2 \text{Pa}$ 以上且 $1 \times 10^3 \text{Pa}$ 以下。

[0124] 关于第二工序中的反应容器管14的成长区域的温度,只要可在气相催化剂及视需要使用的的气相催化助剂以适当的量存在于成长区域内的条件下,使用原料气体在基板28的基面上形成CNT阵列,则并无特别限定。像上文所述那样,有时将第一工序中的基板28的基面上的温度设定得低也有助于该基面上的催化剂形成,在该情况下,有时也变更第二工序中的反应容器管14的成长区域的温度以使其高于第一工序中的成长区域的温度。

[0125] 第二工序中的基面的温度也可通过调整反应容器管14的成长区域的温度而控制。第二工序中的基板28的基面的温度优选的是加热到 $8 \times 10^2 \text{K}$ 以上。在基板28的基面的温度为 $8 \times 10^2 \text{K}$ 以上的情况下,气相催化剂及视需要使用的的气相催化助剂与原料气体容易在基面上产生相互作用,CNT阵列容易在基板28的基面上成长。从更容易产生该相互作用的观点来看,第二工序中的基面的温度优选的是加热到 $9 \times 10^2 \text{K}$ 以上,更优选的是加热到 $1.0 \times 10^3 \text{K}$ 以上,特别优选的是加热到 $1.1 \times 10^3 \text{K}$ 以上。第二工序中的基板28的基面的温度的上限并无特别限定,但在过度高的情况下,有时构成基面的材料或构成基板28的材料(有时这些材料也相同)也缺乏作为固体的稳定性,因此优选的是考虑这些材料的熔点或升华温度而设定上限。若考虑到反应容器管的负荷,则基板28的上限温度优选的是设定为 $1.5 \times 10^3 \text{K}$ 左右。

[0126] 3.CNT阵列

[0127] 像图5所示那样,通过本实施形态的制造方法所制造的CNT阵列的一例具备以下部分,该部分具有将多条CNT以朝一定方向取向的方式配置的结构。若对该部分的多条CNT测定直径并求出这些直径的分布,则像图6所示那样,CNT的直径大多成为 $20 \text{nm} \sim 50 \text{nm}$ 的范围内。可利用电子显微镜等对构成CNT阵列的CNT进行观察,并根据所得的观察图像来测定CNT的直径。

[0128] 该通过本实施形态的制造方法所制造的CNT阵列可具有纺织性。具体来说,通过捏住构成CNT阵列的CNT,并将其朝远离CNT阵列的方向抽出(纺织),可获得具备彼此交缠的多条CNT的结构体(CNT交缠体)。图7为表示由CNT阵列形成CNT交缠体的状态的图像,图8为将CNT交缠体的一部分放大的图像。像图7所示那样,将构成CNT阵列的CNT连续抽出而形成CNT交缠体。另外,像图8所示那样,构成CNT交缠体的CNT朝从CNT阵列抽出的方向(纺织方向)取向,并且彼此交缠而形成连结体。本说明书中,将具备CNT阵列、且可形成CNT交缠体的构件称为“纺织源构件”。

[0129] 4.CNT交缠体

[0130] 由纺织源构件所得的CNT交缠体可具有各种形状。具体的一例可举出线状的形状,另一例可举出网状的形状。关于线状的CNT交缠体,只要是为了获得该CNT交缠体而将纺织源构件抽出时搓捻,则可与纤维同等地操作,而且可用作电布线。另外,网状的CNT交缠体可

直接与无纺布同样地操作。

[0131] CNT交缠体的纺织方向长度并无特别限定,只要根据用途而适当设定即可。通常若纺织长度为2mm以上,则可对接触部、电极等零件级别(level)应用CNT交缠体。另外,线状的CNT交缠体可通过变更从纺织源构件开始进行纺织的方法(具体例可举出搓捻的程度)而任意地控制构成该CNT交缠体的CNT的取向程度。因此,通过变更从纺织源构件开始进行纺织的方法,可制造机械特性或电特性不同的CNT交缠体。

[0132] CNT交缠体若减小其交缠程度,则线状的情况下变细,网状的情况下变薄。若其程度提高,则难以目测确认CNT交缠体,此时该CNT交缠体可用作透明纤维、透明布线、透明网(透明的片状构件)。

[0133] CNT交缠体可仅包含CNT,也可为与其他材料的复合结构体。像上文所述那样,CNT交缠体具有多条CNT彼此交缠的结构,因此在该交缠的多条CNT之间,与构成无纺布的多条纤维同样地存在空隙。通过在该空隙部中导入粉体(金属微粒子、二氧化硅等无机系粒子或乙烯系聚合物等有机系粒子)、或含浸液体,可容易地形成复合结构体。

[0134] 另外,构成CNT交缠体的CNT的表面也可经改质。CNT由于外侧面是由石墨烯所构成,因此CNT交缠体保持疏水性,但通过对构成CNT交缠体的CNT的表面进行亲水化处理,可使CNT交缠体亲水化。这种亲水化的方法的一例可举出镀覆处理。该情况下,所得的CNT交缠体成为CNT与镀覆金属的复合结构体。

[0135] 5.具有阵列形状以外的形状的CNT的制造装置及制造方法

[0136] 可使用上文所述的CNT阵列的制造装置10、制造装置50、制造装置60,制造具有阵列形状以外的形状的CNT。例如,可在基板28上以将各CNT的末端固定的状态形成并无各向异性而弯曲的CNT的集合体,结果该CNT的集合体为具有可作为三维网而发挥功能的二次结构的CNT(本说明书中,将该CNT的集合体称为“CNT网”)。CNT网可通过以下方式制造:在与CNT阵列的制造方法相同的方法,即利用上文所述的CNT阵列的制造装置10、制造装置50、制造装置60来执行第一工序(气相催化剂的供给)及第二工序(碳源的供给)的方法中,调整制造条件。CNT网可用作具有倒装芯片(flip chip)的凸块(bump)那样的功能的构件。

[0137] 另外,也能以气相流动反应的产物的形式来制造CNT。具体来说,只要在制造CNT阵列的情况下配置有基板28的成长区域中未配置基板的状态下,实施第一工序(气相催化剂的供给)及第二工序(碳源的供给),则存在于成长区域内的气相催化剂与含有碳源的原料气体产生化学相互作用,可在成长区域内以气相流动反应的产物的形式形成CNT。此时,在成长区域内成长的CNT彼此不容易以这些CNT可具有阵列形状的程度接近而成长,因此结果可获得形状各向异性低的CNT。

[0138] 从以气相流动反应的产物的形式更稳定地获得CNT的观点来看,也可在供给气相催化剂之前供给原料气体。即,若将含有碳源的原料气体供给至反应容器管14内而使碳源存在于反应容器管14内,在该状态下经由第1液体L而将气相催化剂供给至反应容器管14内,则供给至反应容器管14内的气相催化剂可迅速地与碳源相互作用而形成CNT。该情况下,反应容器管14内的原料气体存在的整个区域可成为成长区域。另外,将气相催化剂供给至反应容器管14内的区域可包括在成长区域中。从以气相流动反应的产物的形式更稳定地获得CNT的观点来看,反应容器管14的既定方向A也可为铅垂方向朝下。

[0139] 以上说明的实施形态是为了容易地理解本发明而记载,并非为了限定本发明而记

载。因此,所述实施形态中公开的各要素为也包括属于本发明的技术范围内的所有设计变更或均等物的主旨。

[0140] 实施例

[0141] 以下,通过实施例等对本发明加以更具体说明,但本发明的范围不限于这些实施例等。

[0142] (实施例1)

[0143] (1) 第一液体的制备

[0144] 在3.0mL甲醇(含水)与1.0mL氯化氢酸水溶液(浓度:35%)的混合物中溶解500mg铁粉,获得溶解铁-甲醇络合物的氯化物的甲醇溶液作为第一液体。

[0145] (2) CNT阵列的制造

[0146] 使用具有图3所示的结构 of CNT阵列制造装置来制造CNT阵列。将在其内部收容有所述第一液体的耐热血载置在作为第一腔室的反应容器管内的内侧面上。

[0147] 准备石英板(20mm×5mm×厚1mm)作为基板。因此,本实施例中,构成基面的材料及构成基板材料均为石英。在反应容器管内的位于较耐热血更靠下游侧的部分,以将石英板载置在包含石英的舟中的状态配置基板。

[0148] 使用排气装置将反应容器管内排气到 1×10^{-1} Pa以下。然后,使用加热器将反应容器管内加热到 1.1×10^3 K,将耐热血及石英板的温度设定为 1.1×10^3 K左右。由于反应容器管内的压力因加热而上升,所以将管内压力维持在400Pa左右。

[0149] 在将反应容器管内的温度设定为 1.1×10^3 K的状态下,从原料气体供给装置向反应容器管内以成为190sccm的流量的量供给作为原料气体的乙炔10分钟,以及从气相催化助剂供给装置向反应容器管内以成为10sccm的流量的量供给作为气相催化助剂的丙酮10分钟,由此实施第二工序。第二工序中的反应容器管内压力是维持在400Pa左右。

[0150] 结果,像图9所示那样,在石英板上获得CNT阵列(成长高度:700μm)。

[0151] (实施例2)

[0152] 将200mg无水氯化铁(II)溶解在10mL甲醇(无水)中,获得氯化铁的甲醇溶液作为第一液体。

[0153] 以下,进行与实施例1相同的操作,实施第一工序及第二工序。

[0154] 结果,像图10所示那样,在石英板上获得CNT阵列。

[0155] [工业上的可利用性]

[0156] 由通过本发明的CNT的制造方法所制造的CNT阵列所得的CNT交缠体例如可合适地用作电布线、发热体、变形传感器、透明电极片等。另外,通过本发明的CNT的制造方法所制造的CNT网或不具有特定的二次结构的CNT可合适地用作二次电池的电极材料。

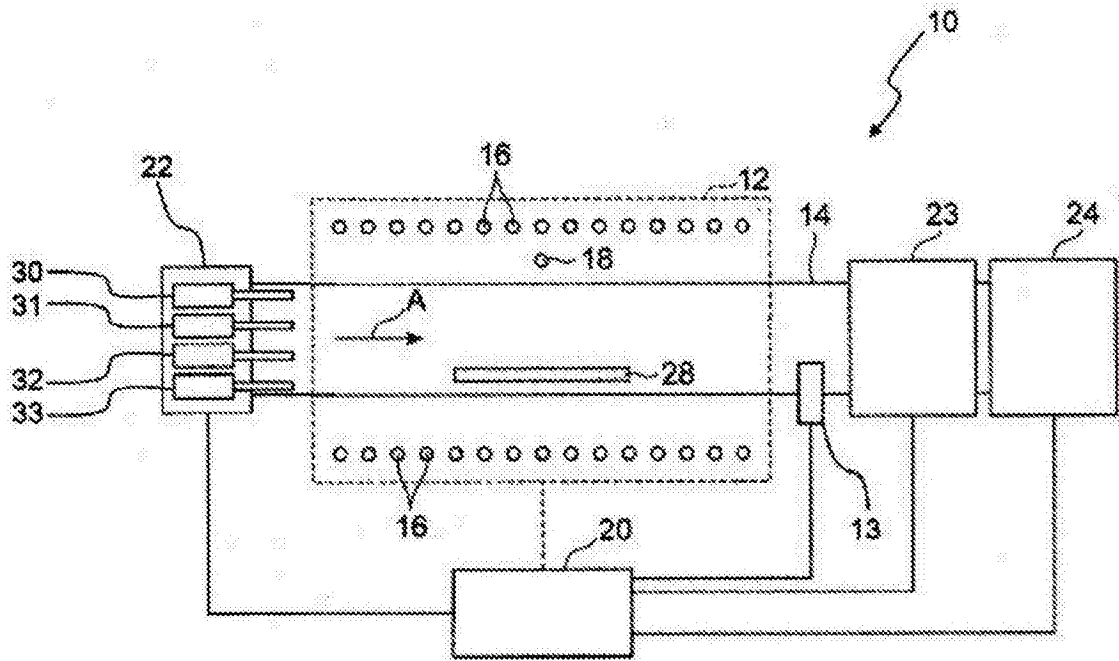


图1

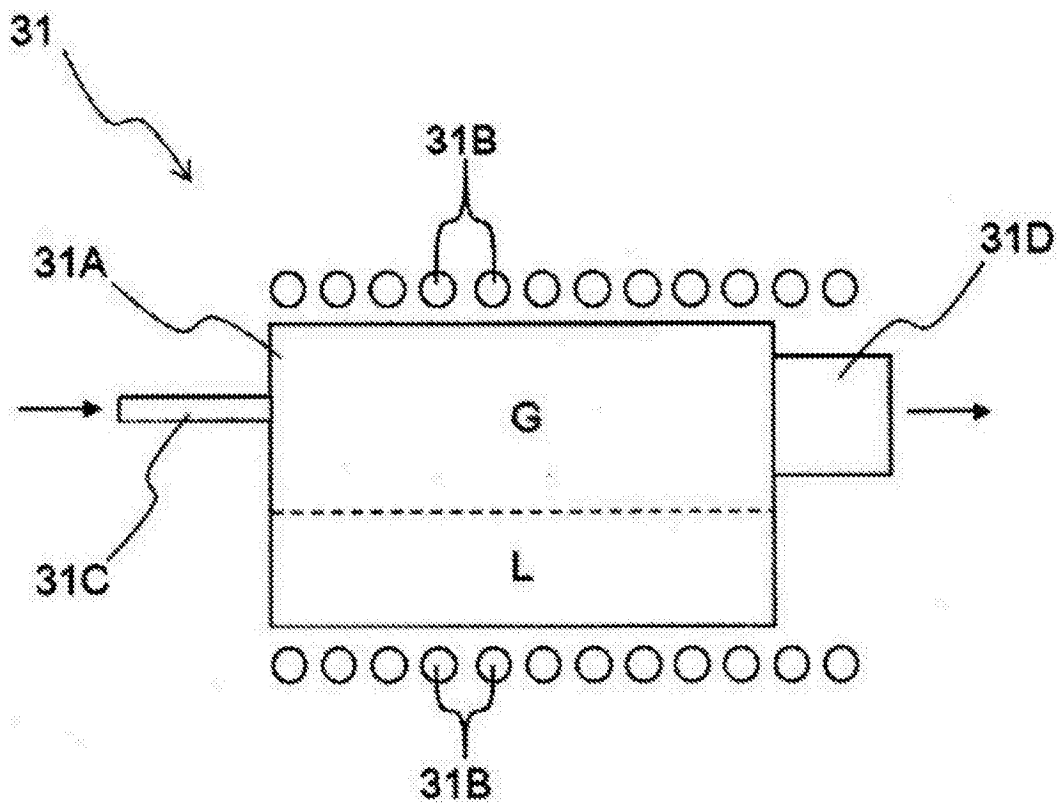


图2

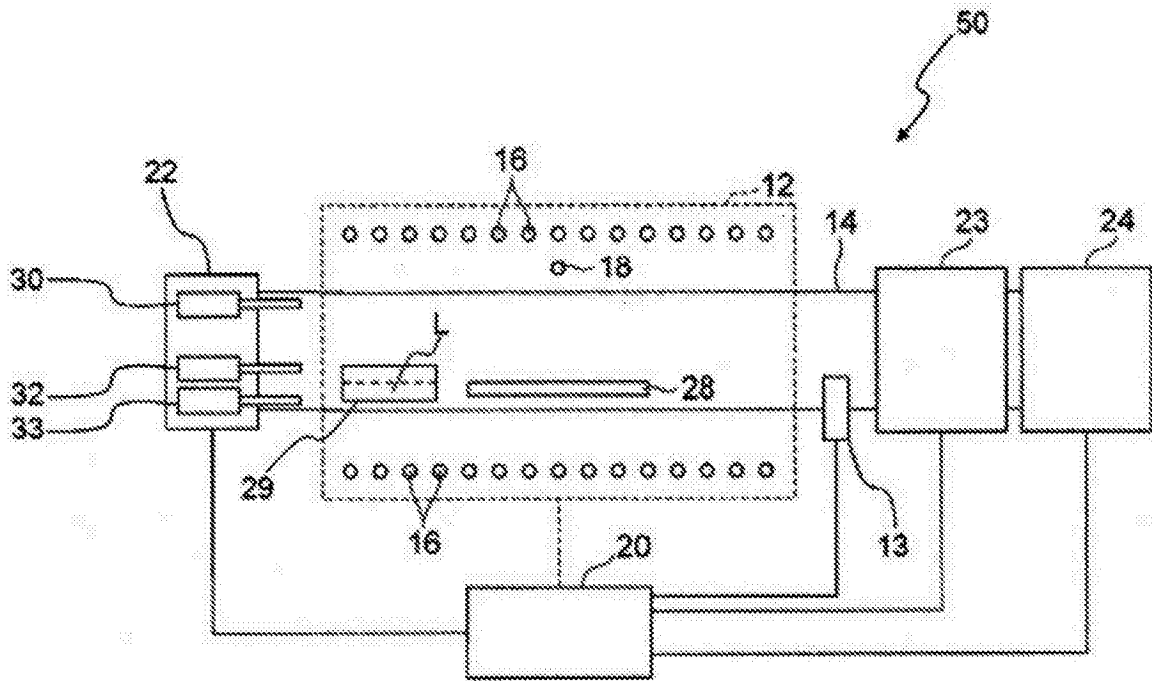


图3

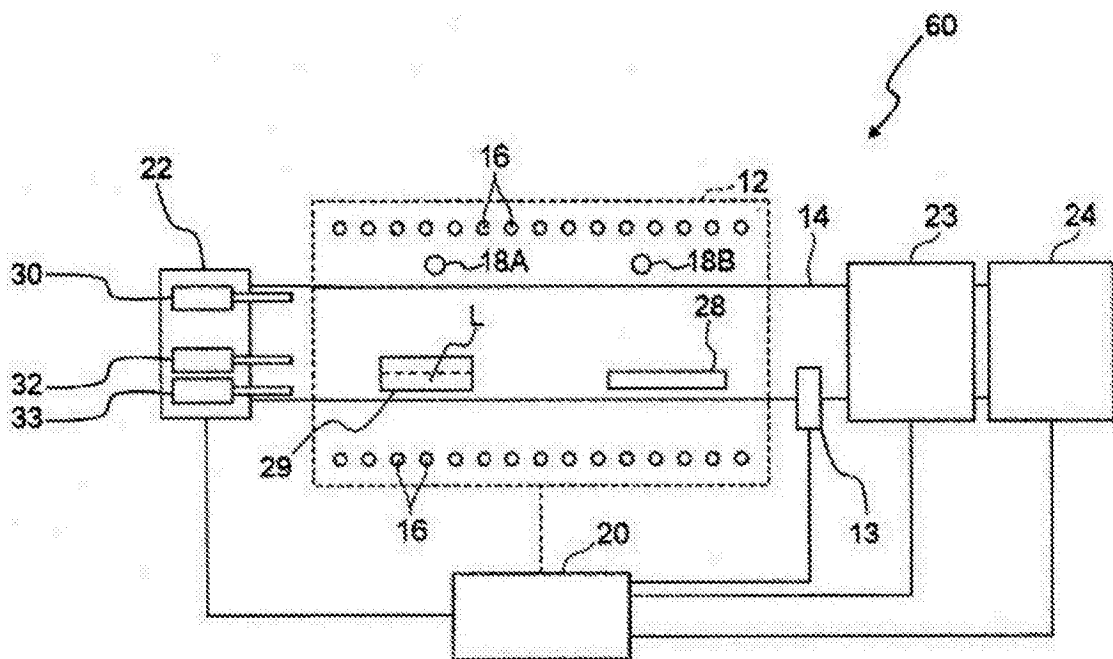


图4

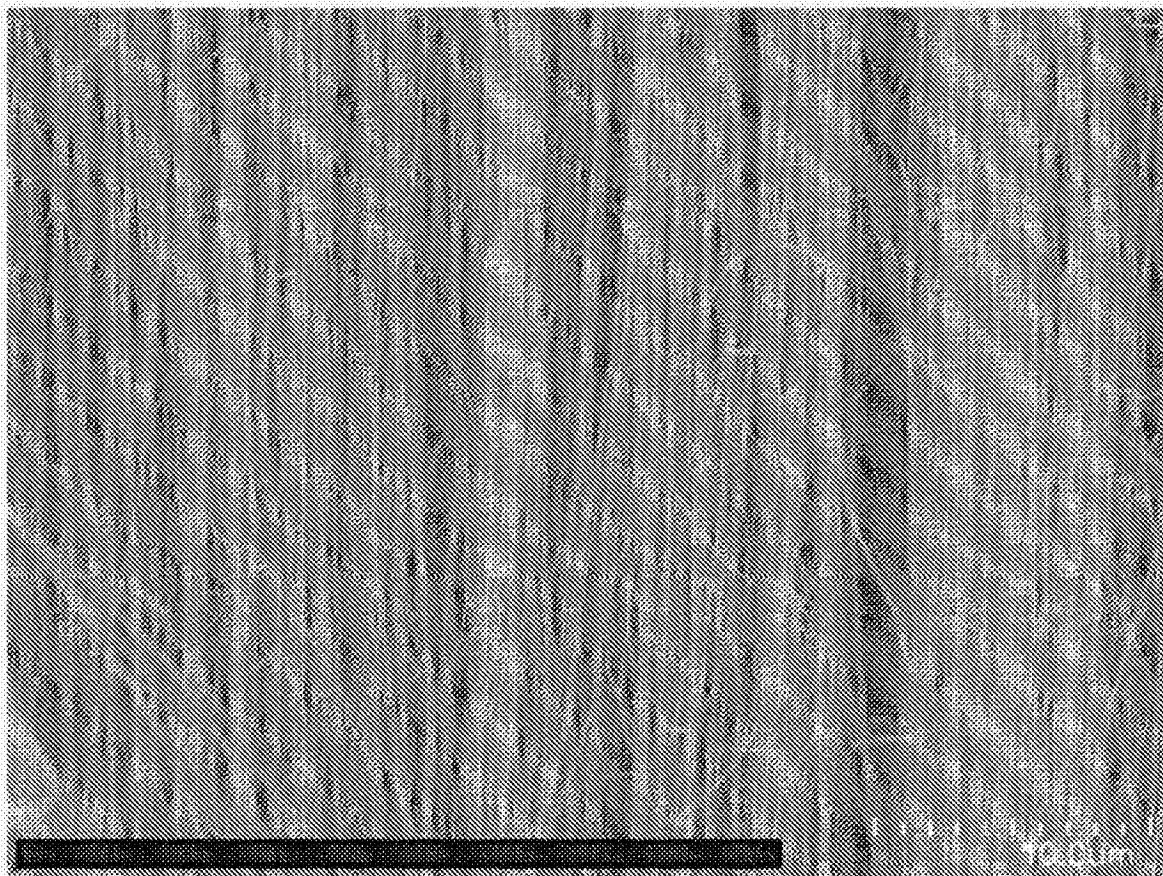


图5

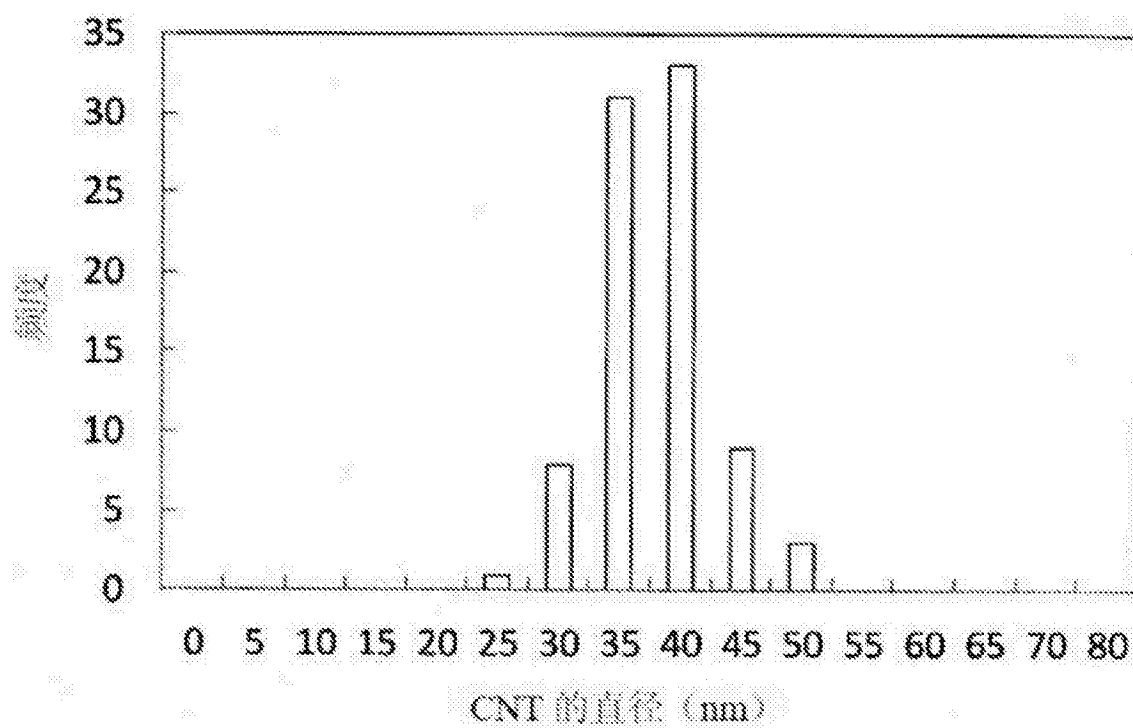


图6

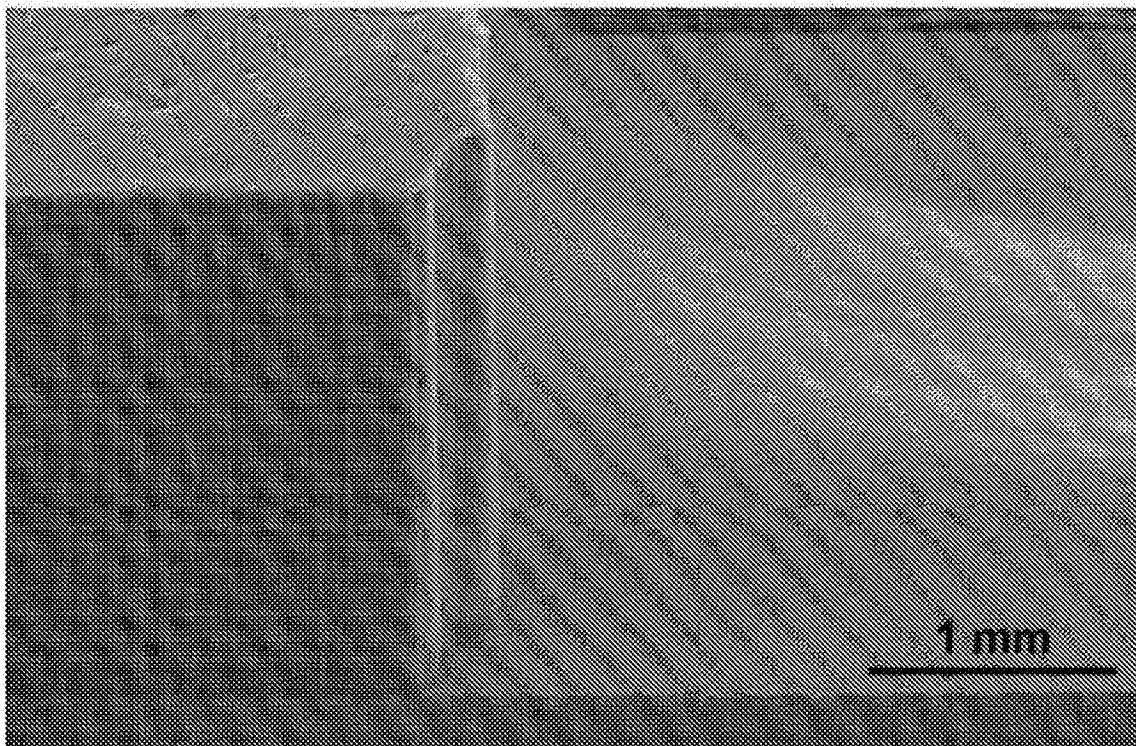


图7

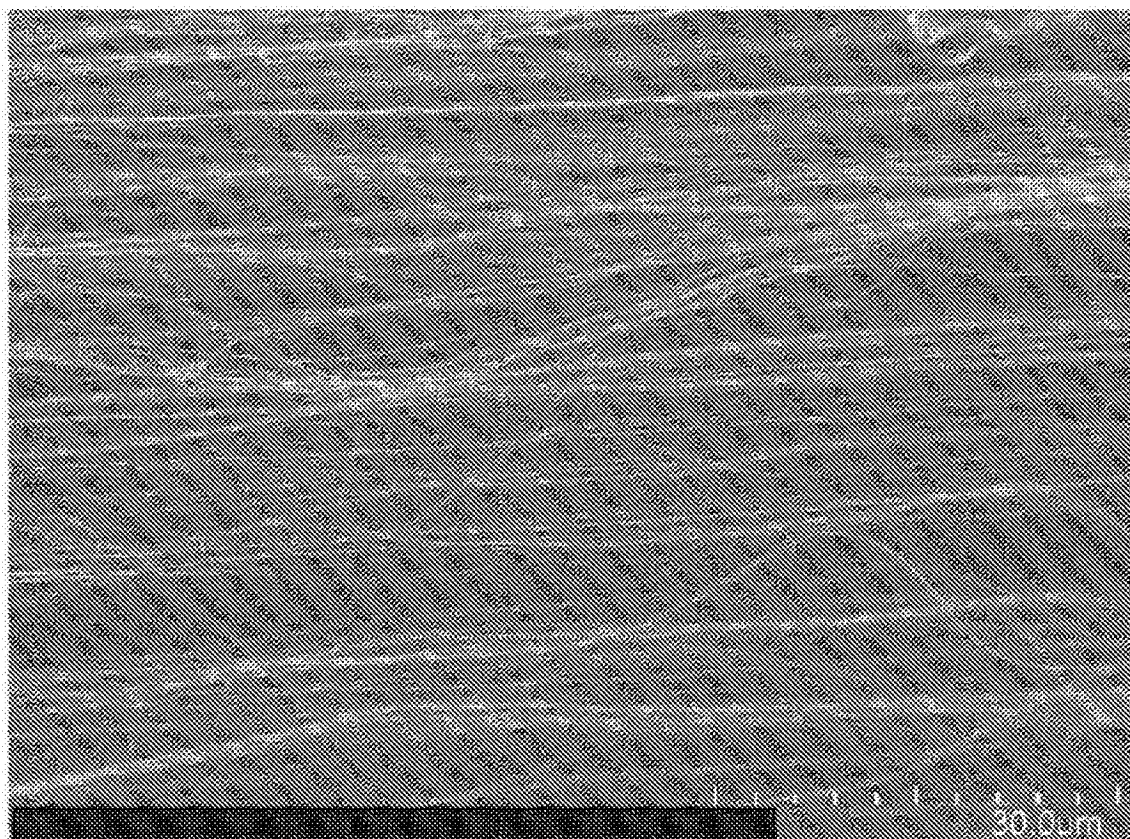


图8

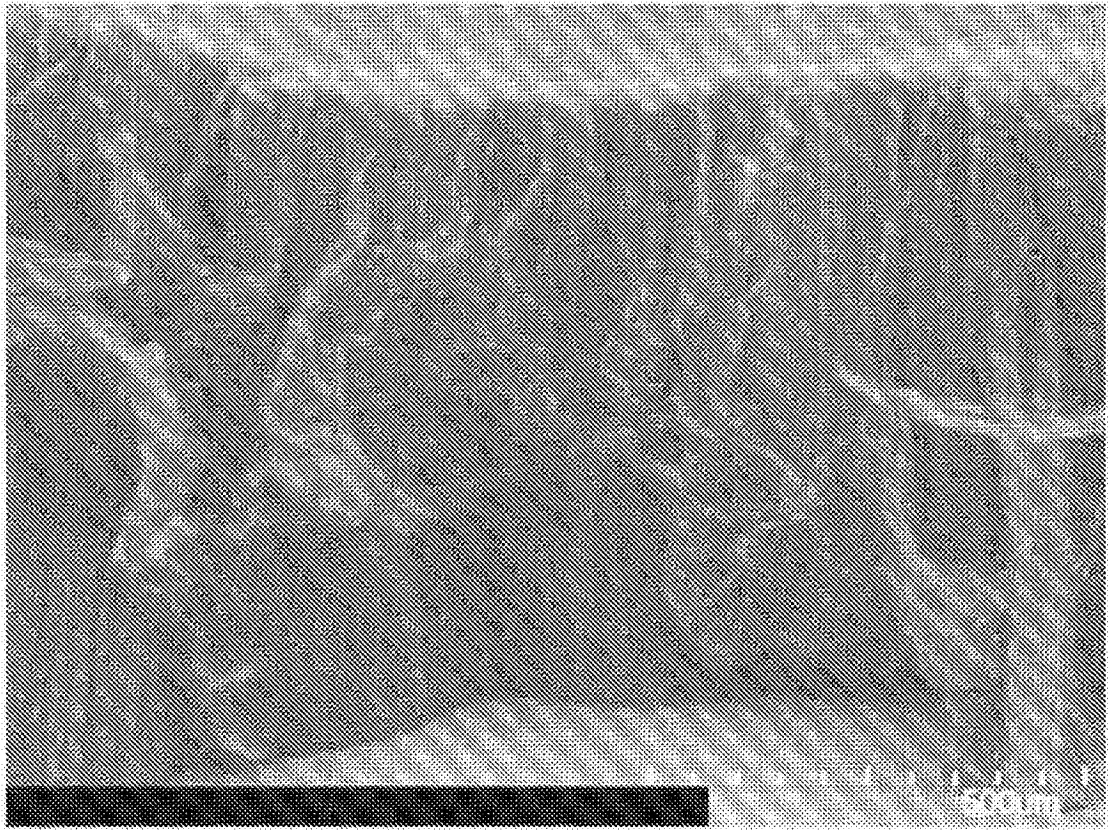


图9

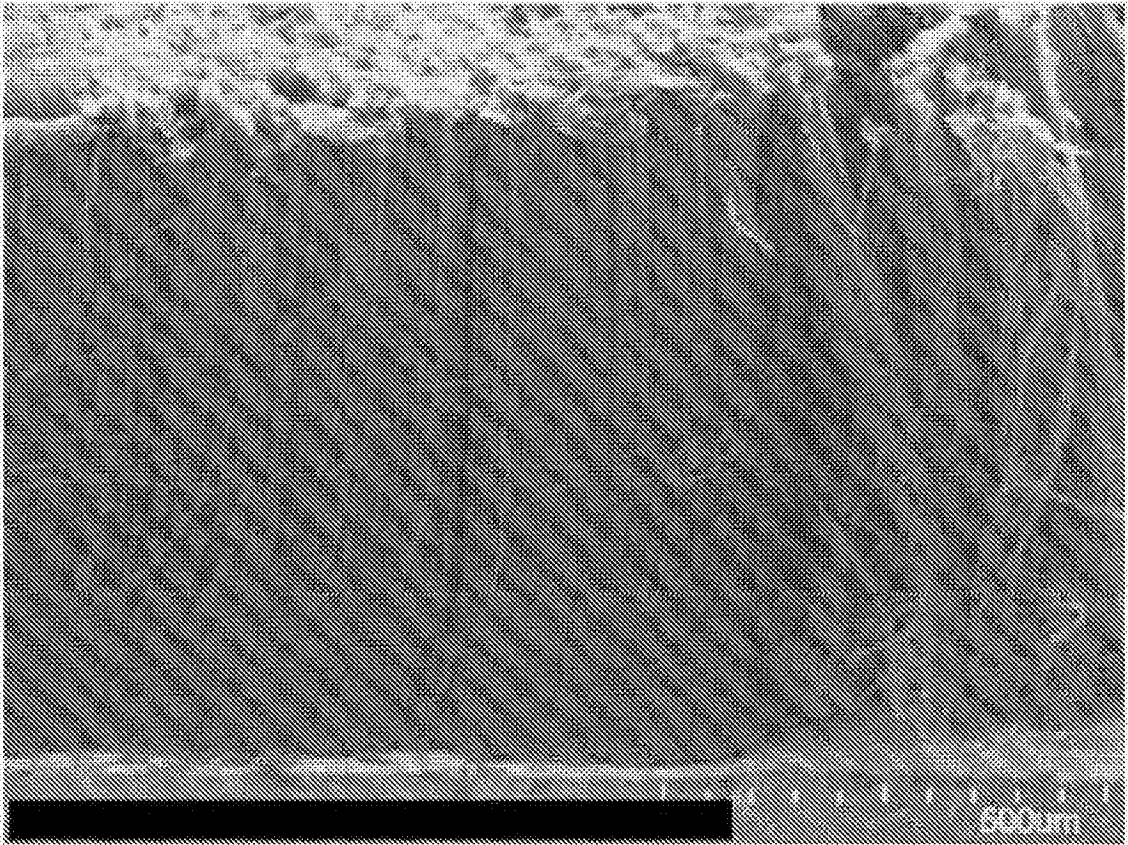


图10